Smoluchowski Marian

Kilka uwag o analogiach fizycznych –

Kilka uwag o analogiach teoryj fizycznych zjawisk przewodzenia elektryczności, ciepła [prądów elektrycznych i cieplnych] i dyfuzji.

~~W różnych częściach fizyki napotykamy na analogje formalne~~

Analogja powyższych teoryj stanowi cechę charakterystyczną, którą one już od samego urodzenia otrzymały

która im już przy przyjściu na świat przez rodziciela udzieloną została.

Najstarsza jest teorya przewodzenia ciepła ogłoszona przez Fouriera 1822 w jego sławnem dziele Théorie analytique de la chaleur, a już (po części) poprzednio w poprzedzających rozprawach; ona bezpośrednio podała Ohmowi (1827) myśl przyjęcia podobnych założeń dla prądu elektrycznego, a już otwarcie służyła za wzór Fickowi (1855) przy wypracowaniu teoryi dyfuzji.

Analogja ta, która polega na wspólnem zasadniczem założeniu że prąd elektr., ciepła, materyi przenikającej jest proporcyonalny do spadku potencyału, temperatury, koncentracyi, uwydatnia się zwłaszcza w obliczeniach dotyczących stanu trwałego, które wspólnemu równaniu podlegają: $\Delta^2 U = 0$.

Równanie to napotykamy wprawdzie także często w innych dziedzinach fizyki i służy ono n.p. do określenia (potencyału elektrostatycznego, (magnetycznego)) [w polu statycznem] potencyału prędkości ruchów niewirowych cieczy idealnej

Istotnie formalna ta analogja często okazuje się pożyteczną, nasuwając rozwiązania z jednej dziedziny przydatne dla innej.

$\theta = \theta_0 \, f\left(\frac{z}{2\sqrt{kt}}\right)$

$= \theta_0 \left[\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{z}{2\sqrt{kt}}} e^{-x^2} dx \right]$

$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\theta_0}{\pi} \frac{1}{\sqrt{kt}} e^{-\frac{z^2}{4kt}}$

$z = 0$

$\frac{1^0}{3000} = \frac{\theta_0}{\pi} \frac{1}{\sqrt{kt}}$

$(3 + \frac{1}{7})^2 = 9 + \frac{6}{7} +$

$=$

$kt = \left(\frac{12.10^6}{\pi}\right)^2 = \frac{144.10^{12}}{10} = 1{\cdot}44.10^{13}$

$k = 1{\cdot}5 . 10^{-2}$

$t = \frac{1{\cdot}44}{1{\cdot}5} . 10^{15} = 10^{15}$

$\frac{z}{30} = \frac{3{\cdot}64}{3{\cdot}14} \cdot \frac{\text{[illegible]}}{1}$

$kt = 1{\cdot}5 . 10^{13}$

99% dla $1{\cdot}82 = \frac{z}{2\sqrt{kt}}$

$\frac{z}{dz} = \frac{3{\cdot}64}{\pi} \frac{\theta_0}{} \frac{\partial\theta}{}$

$z = 3{\cdot}64 . \sqrt{1{\cdot}82 . 10^{15}}$

$= 3{\cdot}64 . \sqrt{18{\cdot}2} . 10^7$

$4{\cdot}26$

$\sqrt{18{\cdot}2} = 4{\cdot}26$

$220 : 8$

52

$= 16 . 10^7 = 1600$ km

136

$z = 3{\cdot}64 . \sqrt{1{\cdot}5 . 10^{13}}$

$= 3{\cdot}64 \sqrt{15} . 10^6$

$= 3{\cdot}64 . 3{\cdot}8 . 10^6$

$13 . 10^6 = 130$ km

$\frac{x}{2\sqrt{kt}} = 1$

$x = 2\sqrt{}$

$\frac{2{\cdot}67 . 10^{-5}}{0{\cdot}015} = 18 . 10^{-3} = 0{\cdot}0018$

$\sqrt{0{\cdot}0018} = 0{\cdot}042$

$0{\cdot}042 . 1600$

67 km

$30 . 10^6$ lat . $\left(\frac{1{\cdot}5 . 10^{-2}}{2{\cdot}67 . 10^{-5}}\right)$

$= \frac{8 . 10^2}{1{\cdot}5 . 10^{-2}}$

$= 5{\cdot}3 . 10^4$

$= 53\,000$ lat

$130 . 0{\cdot}042$

52

26

$5{\cdot}46$

$= 5{\cdot}5$ km

~~Często w fizyce teoretycznej napotyka się na~~

Analogije występujące tak często w różnych dziedzinach fizyki teoretycznej tworzą wdzięczny temat badania (i też dość często zużytkowany). Dla badacza śledzenie ich jest znakomitym środkiem do pogłębienia logicznego odpowiednich pojęć, i do wykazywania teoryj za pomocą (dostosowania wywodów) zapożyczonych z innych działów fizyki; a oprócz tego jest ono też niezawodną pomocą przy dydaktycznem traktowaniu przedmiotu. 4

Klasycznym przykładem jest analogia zjawisk polegających na równaniu potencyalnem $\Delta^2 U = 0$, odgrywającem tak ważną rolę we wszystkich niemal działach fizyki. Tak n. p. wzór $U = cx\left(1 + \frac{a^3}{2r^3}\right)$, zadość czyniący powyższem równaniu, ~~wyraża rozmieszczenie potencyału w otoczeniu nieprzewodzącej kuli o promieniu a~~ zamkniętej w przewodniku w jednostajnem polu (natężenia c) elektrycznem, lub też w otoczeniu przewodzącej kuli zamkniętej w izolatorze w jednostajnem polu elektrostatycznem. To samo równanie określa (odpowiedni rozkład) potencyału magnetycznego w otoczeniu ~~kuli o [illegible]~~

i pochodne z niego

$$\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{cx}{r}\left(1 - \frac{a^3}{r^3}\right) \qquad \frac{\partial U}{\partial x} = c\left(1 + \frac{a^3}{2r^3} - \frac{3x^2a^3}{2r^5}\right)$$

F

wyraża zmianę (w równomiernym polu $U = cx$) spowodowaną obecnością kuli o promieniu a; i może to przedstawić albo (rozkład potencyału elektrycznego i linii pręd. elektr.) w przewodniku, jeśli owa kula jest nieprzewodząca, albo temperaturę jeśli chodzi o przewodnictwo ciepła, albo rozmieszczenie koncentracyi przy dyfuzyi w otoczeniu ściany kulistej, a to samo równanie określa ~~odpowiednie rozmieszczenie potencyału~~ 2 3

W tym też względzie chciałbym rozwinąć kilka uwag, które, choć nie zawierają nowych rezultatów, może przydać się mogą do objaśnienia niektórych kwestyj nasuwających się przy obliczaniu wentylacji w przewodach; szczególnie chodzi mi przytem o rozwiązanie dwóch punktów: tj. logicznej i praktycznej doniosłości takich analogji.

wyraża rozkład potencyału U w otoczeniu kuli znajdującej się w równomiernem polu $U = cx$, i można te równania interpretować na rozmaite sposoby: ~~Jeżeli stałe~~ przedstawia ono rozkład potencyału elektrycznego (i linij prądu) w otoczeniu kuli nieprzewodzącej zanurzonej do przewodnika, jeżeli stała c oznacza strumień prądu do przewodnictwa; oznaczając U za temperaturę ciała otrzymujemy odpowiedni przykład z teoryi przewodzenia ciepła; podstawiając na miejsce U koncentracyę roztworu, otrzymujemy rozkład koncentracyi powodowany dyfuzyą w otoczeniu ściany kulistej. A te same równania przedstawiają także kierunek i prędkość prądów cieczy w otoczeniu kuli zanurzonej do cieczy idealnej nieściśliwej

3 2

~~elektrostatycznego~~ w

~~Tak[że] rozkład potencyału prędkości, a zatem kierunek prądów w stosunku kuli~~ w cieczy) ~~zbaczanie prądu elektrycznego w kierunku~~ x

~~zanurzonej do cieczy idealnej~~ albo [illegible] wrunci [illegible] rozmieszczenie potencyału elektrostatycznego lub magnetycznego w ciele takim, które posiada stałą dielektryczności lub dia[magnetyczności] bardzo dużą w ~~w ciele [illegible] bardzo dielektryczne lub diamagnetyczne~~ ~~w stosunku~~ porównaniu ze ~~[illegible]~~ substancyą kuli ~~do którego zanurzona jest kula z materyału małą dielektry[czności] itd~~ ~~jeśli kula ma składa się z~~

A podobny parallelizm między ~~[illegible]~~ pojęciami dwudziestami istnieje przy każdem zadaniu tego rodzaju. Wiadomo że równaniu różniczkowe $\Delta^2 U = 0$ można zastąpić przez ~~prawo~~ założenie „całkowe" że siły pochodzą od punktów ~~(przyciągających [illegible])~~ działających według zasadniczego prawa $\frac{1}{r^2}$, i że tak samo hydrodynamikę idealną można rozwinąć ~~na podstawie~~ ~~przy przyjęciu~~ w założeniu że prąd cieczy pochodzi z istnienia pewnych źródeł (i wypływów) powodujących prąd ~~[illegible]~~ o prędkości $\frac{1}{4\pi r^2}$ w odległości r od źródła jednostkowego. *)

~~Elektrost. Zyst.~~

$\frac{1}{4\pi r^2}$

Z takich analogii skorzystał np. Berget ~~stosując~~ przenosząc (dzięcy odkrycie w zasadzie) zasadę Thomsona „guard-ring electrometer" ~~[illegible]~~ z elektrostatyki do teoryi przewodzenia ciepła, ~~[illegible]~~ co mu umożliwiło oznaczenie przewodnictwa cieplnego rtęci (i kilku innych metali ~~dokładnie~~) ze pomocą ~~dokładnego przyrząd~~ ~~[illegible]~~ metody ścisłej i bardzo dokładnej

Podobnie znów ~~[illegible]~~ Christiansena ~~metoda~~ sposób oznaczenia wzajemnego stosunku przewodnictwa cieplnego w dwóch warstwach złych przewodników albo Lodge'a metoda „pręta podzielonego") ~~[illegible] dadzą się tak samo też użyć~~ ~~[illegible]~~ (do oznaczenia przewodnictwa elektrycznego (stanowią ~~niezmienione~~ zmienione modyfikacye metod używanych

tak że każde specjalne rozwiązanie może znaleźć zastosowanie do wszystkich owych zjawisk. Zagadnienia dwuwymiarowe mają jeszcze i liczne inne analogie n.p. w rozmieszczeniu ciśnień i przesunięć po przekroju belek skręconych i przegiętych i.t.p.

Rozważając [bliżej] powyższe przykłady spotyka się między niemi dość wyraźną różnicę: mianowicie ~~analogie między~~ trzech rodzajów przewodzenia [lub przenikania]: elektryczności, ciepła i materyi dyfundującej ~~[illegible]~~ (łączą się jakiejś wyższej więzi) ściślej są [analogie] zawisłi ~~między~~ [z] innemi przykładami:

Istotnie ~~[illegible]~~ zaznacza się w nich wspólność dwóch zasad podstawowych

1). ~~pojęcia substancyi~~ „substancyalizacya" elektryczności, ciepła, materyi; ~~i~~ ~~opracowanie~~ występuje ona w ~~[illegible]~~ równaniu „nieniszczalności" (lub ciągłości) (*) ~~na wzór~~ [według wzoru] (z [pewnem] przybliżeniem zob. wyżej)

od wzoru

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

wypowiadającym ~~[illegible]~~ że ~~[illegible]~~ nadmiar ciepła, substancyi, elektr. [nie może] zniknąć, tylko ten zatoki ugromadzony wypływającej przez powierzchnię (każdego elementu) ponad wypływającą ~~zatoki~~.

2) Założenie Fourierowskie proporcyonalności prądu do spadku ~~koncentracyi~~ [temperatury] etc.

Analogia ta [nie jest więc przypadkową; ~~[illegible]~~ przeciwnie ona była poniekąd rodzicielką tych teoryi] ~~stanowi więc charakterystyczną cechę tych teoryi już przy wyrażeniu~~

* ~~gdyż najstarsza z nich, Fouriera teorya przewodzenia ciepła, ogłoszona w roku 1822 w swym sławnym dziele „Th — —" a [po części już] poprzednio w pojedyńczych rozprawach, bezwątpienia Ohmowi (1827) myśl poddała przyjęcia podobnych założeń dla prądu elektr., a już otwarcie jako wzór służyła Fickowi 1855 przy opracowaniu teoryi dyfuzyi.~~ ~~Głębsza przyczyna leży w tem że te trzy zjawiska~~

Zrozumiałem się to [zdaje] ~~[illegible]~~ zrentą [jeśli się] zapatrujemy ~~[illegible]~~ na te zjawiska jako równoczesne ~~[illegible]~~ rozpraszania ~~[illegible]~~ energii, podlegające wspólnemu „prawu zanikania".

~~Skutkiem tego jest~~ Wspólność owych zasad jest przyczyną, że analogia po części też dla stanu zmiennego z czasem [ważną pozostaje] wykazaną być może.

*) Hydrodyn..

Istotnie np. prawo według którego temperatura w punktach pręta się zmienia, poczem początkowo mającego jednostajną temperaturę 0, a w chwili t=0 w jednym końcu do stopnia θ ogrzanego:

$$\theta = \theta_0 \left[1 - \frac{2}{\pi}\int^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-y^2} dy\right]$$

jest identyczne ze wzorem, który podaje wzrost potencyału w kablu którego koniec dłużej został połączony z baterią; a na tym samym wzorze opiera się także metoda służąca do oznaczenia spółczynnika dyfuzyi z ilości substancyi, która z naczynia napełnionego roztworem przeniknęła do wgłębienia rurki początkowo czystą wodą napełnionej, metoda zastosowana z pewną odmianą przez Grahama?, Ficka, a później Stefana.

Czy taki sposób te wszystkie zjawiska zrównane

Porównując z przedtem wspomnianymi przykładami, możnaby przeciwstawić odróżnienie analogij istotnych lub rzeczywistych od analogij wytworzonej przez przypadkowe podobieństwo wzorów matematycznych natury czysto formalnej, i rzeczywiście napotykamy u różnych autorów takie określenie. Do pierwszej kategoryi należałyby oprócz tu wymienionych także np. pokrewieństwo zjawisk głosu do światła i drgań elektr., do drugiej np. wspomniane podobieństwo prądu cieczy i rozkładu potencyału elektrostatycznego albo analogia między ruchem powolnym dwuwymiarowym cieczy lepkiej i drganiami poprzecznemi płyty sprężystej [polegająca na wspólności równania

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = 0 \;]$$

lub podobieństwo linii łańcuchowej do promienia światła, przechodzącego przez ośrodek o strukturze warstwowanej, także pokrewieństwo tego samego do pewnego zadania z dynamiki punktu× itd.

× Thomson Tait § 581

A co najciekawsze, (to) że wzajemność tych analogii sięga nawet do teoryi mechanizmów owych zjawisk ~~[illegible]~~ i nawet do wartości współczynników. Wszak przewodzenie elektryczne w elektrolytach uważamy za objaw dyfuzyi jonów. A teorya gazów tłumaczy wewnętrzny mechanizm dyfuzyi a przewodzenia ciepła w gazach w zupełnie analogiczny sposób i ~~wyprowadza matematyczne prawidła~~ w prawie identyczny sposób ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ Prawo Wiedemanna i Franza (stwierdzające / wypowiadające) proporcyonalność współczynników przewodnictwa elektr. i cieplnego dla rozmaitych metali znów wskazywać się zdaje na wewnętrzne pokrewieństwo tych dwóch zjawisk, które ~~[illegible]~~ występujące także w tem że ~~[illegible]~~ one obydwa w podobny sposób podlegają wpływowi pola (ściślej [illegible]) ~~[illegible]~~ magnetycznego (zjawisko ~~[illegible]~~ Hall'a) ~~a może po części także w termoelektr. zjawisku Thomsona które Kohlrausch tłumaczy konwekcyą ciepła wskutek prądu elektrycznego.~~

Istotnie nowa teorya elektronów stara się [illegible] o wytłumaczenie ~~[illegible]~~ pokrewieństwa tych trzech z sobą złączonych dziedzin na podstawie dyfuzyi elektronów.

Mimo że taki pogląd wydaje się bardzo naturalnym i w istocie rzeczy uzasadnionym, nie zdaje się jednak żeby on dał się utrzymać lub wogóle tylko konsekwentnie przeprowadzić, gdyż różnice jakościowe analogii, przedstawione tu w wielkich skrajnych przykładach, zależą nieraz tylko stopniowe. Tak n.p. analogia omówionego przykładu (kabla elektrycznego izolowania) ze zmianami rozkładu temperatury pręta ogrzanego z jednego końca zatraca się zupełnie, gdy uwzględnimy jeszcze zjawiska indukcyi elektromagnetycznej (odgrywające pewną rolę w kablach kilkoset ...) t.j. uwzględnimy obliczenie Kelvina w taki sposób jak to Kirchhoff uczynił.

Ogólne równanie stanu zmiennego cieplnego $c\rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \Delta \theta$ nie ma wogóle analogii w elektryczności; ponieważ tam równania zasadnicze stanu zmiennego są o wiele bardziej skomplikowane i pojęcie potencyału skalarnego nie da się (tu ogólnie) zastosować.

x) Wprawdzie może także owo równanie cieplne doznać kiedyś poprawki przez uwzględnienie zjawisk bezwładności cieplnej, ale nie zdaje się, żeby to mogło nastąpić według równań Maxwellowskich

Zresztą i w prostszych przypadkach ustaje ta analogia gdy się uwzględnia różnica potencyałów powierzchniowych elektr., a przestrzennego rozmieszczenia ciepła.

Ściślejsza jest analogia dyfuzyi masy materyi a ciepła, ale i ona upada przy rozszerzeniu rozważań na zjawiska termodynamiki; skoro wiemy że ciepło nie jest niezniszczalnem — co dotychczas jako zasadniczą własność „materyi" przyjmujemy

---

Np. przykład ... nie ma analogii ...

Oczywiście, gdyby analogia tych zjawisk była zupełną, nie byłbyśmy wcale uprawnieni odrębnych nazwisk do ich określenia.

Obecnie porzuciliśmy (naiwne) pojęcie ciepła jako substancyi „fluidum" i uważamy je za rodzaj ruchu (drobinowego), ale czyż to nie jest także tylko analogią? ~~[illegible]~~

~~Kolejne teorye fizycznych bywają zmieniane~~ Jest to wogóle rzeczą niebezpieczną: wierzyć w realność hipotez fizycznych i równie naiwnymi będą się wydawać może (kiedyś) ci którzy wierzą (głęboko) w realny byt materyi (~~[illegible]~~ w związku z niezmiennością masy) jak ci którzy (obecnie) w podobny sposób ubóstwiają energię.

Wszak i najświęcej (bardziej) ugruntowane teorye fizyki nie ~~[illegible]~~. Zjawiska elektryczne tak się odbywają ~~jak gdyby~~ istniał pewien mechanizm ukryty, ~~[illegible]~~ Właściwości gazów są analogiczne do właściwości zbioru z ~~[illegible]~~ cząsteczek poruszających się szybko.

Ewolucya nauki następuje w tym kierunku, że analogii (obszerniejszej) ~~[illegible]~~ i (prostszej) używamy, przyjmujemy wogóle ~~[illegible]~~ niż takiej która ma (więcej bardziej) ograniczony (ogólniej) zakres ważności — choć i ta (często) nie jest zupełnie bezużyteczna, podobnie jak i dziś w wielu przypadkach ~~[illegible]~~ (wyobrażamy sobie) używamy pojęcia elektr. lub ciepła (pod postacią) jako „fluidum".

~~Losy teoryi fizycz~~ Kto naiwnie wierzy w realność teoryi fizycznych, nie pojmuje, jak (będąc) ten sam przedmiot może traktować z punktów widzenia wręcz przeciwnych jak to np. Helmholtz uczynił, wypracowując raz przed teoryę mechaniczną absorpcyi świetlnej, a później elektryczną, ale zupełnie zrozumiałe to jest jeśli uważamy jedną i drugą i każdą teoryę fizyczną tylko za analogię.

~~A często tu ważną rolę odgrywa odstęp upodobanie. Tak w nowszych czasach~~

W tym sensie możnaby powiedzieć że ~~[illegible]~~ wszystkie analogie fizyki są tylko analogiami formalnemi i że na wyszukaniu takich analogii polega wogóle zadanie fizyki teoretycznej, przez co umożliwia się objęcie myślowe jak najobszerniejszego zakresu zjawisk fizycznych.

Dziwnem może się wydać że pomimo tak daleko idącej teoretycznej zgodności analogii ~~wspomnianych~~ trzech dziedzin w praktyce tak dalece się różnią, że np. wszystkie metody mierzenia ~~[illegible]~~ ~~i że praktyczne zastosowanie tych zjawisk analogii wcale obszerne~~ nie mają wogóle ~~wspólnego~~ cech wspólnych.

Przyczyną tego jest fakt następujący: iż dla praktyki oprócz jakościowych praw ogromnie ważną rolę odgrywają spółczynniki materyałów, w tym wypadku zaś ~~a jakie tu istnieją~~ olbrzymie różnice ~~skoro następująca tabliczka spółczynników przewodnictwa~~

~~elektr.~~ ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~

Największe są różnice spółczynników elektrycznych różnych materyałów, najmniejsze różnice okazują spółczynniki przewodnictwa cieplnego.

Jest to główna przyczyna nadzwyczajnej dokładności, z którą wykonać możemy pomiary elektryczne (n. p. oporu) i przyczyna niezwykłej łatwości, z którą energię elektryczną przenosi się na dalekie odległości, a zatem też wogóle praktycznej użyteczności tej formy energii. Co do pierwszego punktu zważmy, że mierząc opór dobrego przewodnika np. drutu, zupełnie możemy pominąć upływ elektr. przez powierzchnię drutu i przez powietrze, a mierząc opór przewodnika znów możemy pominąć zupełnie opory elektrod, przyprowadzających elektryczność. Brak tak doskonałych izolatorów i tak doskonałych przewodników cieplnych utrudnia nadzwyczajnie odpowiednie pomiary cieplne i w nim to główną przyczynę szukać należy tego faktu, że wiadomości nasze na polu przewodnictwa cieplnego tak są jeszcze niedostateczne.

O licznych sprzecznościach w dotyczących rezultatach tyczących się przewodnictwa cieplnego następująca tabliczka spółczynnika może dać wyobrażenie:

00184
92
100276

Glin	0·3944	Lorenz
	0·6188	Mitchell
Bizmuth	0·0171	Lorenz
	0·0171	Wiedemann & Franz
	0·017	Ettingshausen Nernst
	0·0106	Kronauer
	0·0108	H F Weber
Rtęć	0·01479	H F Weber
	0·02015	Berget
Lód	0·00568	Neumann
	0·005	Mitchell
	0·0022	Forbes
Parafina	0·000141	Forbes
	0·0002294	R Weber
	0·00061	Lees

Dla porównania

nieskończenie

9

10

~~Jako ilustracyę~~ ~~[illegible]~~ izolacyi przewodów elektrycznych i cieplnych wyobraźmy ~~[illegible]~~ sobie drut miedziany ~~[illegible]~~ (grubości) o promieniu 1 mm, izolowany 1 mm od warstwą guttaperki ~~[illegible]~~ jednym końcem utrzymywany na stałym potencyale 100 V; ~~[illegible]~~ spad jednego volta wskutek niedostateczności ~~braku~~ izolacyi nastąpi jak łatwo obliczyć według danych dopiero na odległości długości 5500 km — podczas gdy odpowiedni jednoprocentowy spad temperatury drutu z jednego końca grzanego nastąpiłby już w odległości tylko 3 cm od tegoż końca.

Nawet najlepsza ~~[illegible]~~ izolacya cieplna na sposób butelek Dewara nie wiele by poprawiła ten wynik — i nikomu na myśl nie przyszło długości ~~[illegible]~~ rozsyłać do ~~w~~ naszych mieszkań ciepło za pomocą przewodów cieplnych (drutów grzanych w stacyi centralnej) jak to czynimy z elektrycznością.

*) Używamy chyba (~~[illegible]~~) [illegible] grzanej i rurami rozsyłanej ~~[illegible]~~ zachowującej przy transporcie —

~~[illegible]~~ W doświadczeniach o dyfuzyi „izolacya" zjawiska nie przedstawia żadnych trudności, ponieważ spółczynniki przenikania ciał stałych są tak małe, że w ogóle tylko w wyjątkowych przypadkach (jak dyfuzya Au-Pb Roberts-Austen) udało się wykazać istnienie wogóle dyfuzyi ~~[illegible]~~. ~~Nastręcza jednak olbrzymie trudności wskutek~~ powolności ~~[illegible]~~ ~~tego że wogóle [illegible] z którą w ogóle zjawisko dyfuzyjne się odbywają.~~

Jest to rzeczą nadzwyczaj prawdopodobną że wzajemne przenikanie ciał (przynajmniej do pewnego stopnia przenikalności) stałych nie jest ograniczone do tego rzadkiego przypadku jest zjawiskiem zupełnie ogólnem, ale spółczynniki odpowiednie są tak małe, że ~~[illegible] abyśmy się nadzwyczajnie~~ nie spostrzegamy nigdy aby ~~spostrzegać że~~ n. p. kawał żelaza leżąc na miedzi wchłonął i tak twardości stem od stałych ~~wyobraźmy~~ mniej że całym razem się zmieszał ~~[illegible]~~ część tejże w siebie. (I rzeczywiście ~~tym jedynie sposobem~~ wskutek tego jedynie możliwe ~~[illegible]~~ jest wytworzenie substancyi stosunkowo czystych ~~[illegible] a bez tego niemożliwą byłaby~~ a zatem też wogóle rozwój chemii jako nauki.

Ta powolność nadzwyczajna zjawisk dyf. jest po części wspólną cechą wszystkich i ona to stanowi powodzi olbrzymie trudności ~~[illegible]~~ odpowiednich badań, także w gazach i cieczach.

Nie tylko bowiem czas [trwania] jednego doświadczenia musi być bardzo długi, ~~jeśli~~ aby ilość przenik. [dla mierzenia wystarczająca] była dostatecznie wielka, ale wskutek tej ogromnej staranności trudno uniknąć aby przeszkodzić powstaniu prądów konwekcyjnych.

~~wskutek drobnej~~ [nawet] nierównomierności temperatury [wystarczają już do] ~~wskutek~~ wytworzenia prądów

Odnosi się to zwłaszcza do szerszych naczyń gdzie drobna) ~~iż wynik dyfuzji~~

, fałszujących zupełnie wynik doświadczenia, a wywołując wszystkich naczyń znów zmniejszenie w [tym samym stosunku] ilości substancji przenikającej.

Z powodu tej powolności dyfuzji [długotrwałoby] czekać aż się ustanowi układ trwały i zwykle bywają zastosowane metody polegające na czasowej zmienności koncentracji jak owo już wspomniane Grahama.

Do układu zmiennego nie mamy ścisłej analogii w dziedzinie już wspomnianej

~~W tym razie~~ (spółczynnik analogiczny w teorii przewodzenia ciepła ~~jest~~ zastępujący stałą dyfuzji w prawie zasadniczym $\frac{\partial c}{\partial t} = k \Delta^2 c$

jest nie przewodnictwo cieplne, tylko tzw. przewodnictwo temperatury t.j. $\frac{k}{c\rho}$

[pod względem liczbowym] jednak wielce uwydatniają się różnice w rozmaitych

jak np.:

Ilościową różnicę tych zjawisk przedstawi następujący przykład

Przyjmując jako 4000° temperaturę pierwotną kuli ziemskiej (na powierzchni nagle ochłodzonej do dzisiejszej temp.), a 0·015 jako spółczynnik przewodn. temperatury (granitu, gnejsu, marmuru, piasku), otrzymujemy według wzoru

$$\theta = \theta_0 \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-x^2} dx$$

wynika, że po upływie 30,000,000 lat ochłodzenie

(t.j. czas potrzebny aby gradient temperatury spadł do $\frac{1^\circ}{30 m}$)

planeta

ograniczyłoby się jeszcze do warstwy grubości 130 km, t.j. ~~tak~~ tej głębokości temperat. byłaby obniżoną dopiero ~~spadłaby~~ o 1%. (Powodem potwierdzającym Ochłodzenie to nawiasem mówiąc ~~dla życia org. zupełnie jest obojętne~~ gdyż na klimat ziemi wcale nie wpływa – ciepło z wnętrza ziemi ku powierzchni napływające wynosi ledwie użą tysiączną (?) tego które ona otrzymuje od Słońca.

Gdyby w podobny sposób od owego czasu ~~[illegible]~~ może pokryte zostało warstwą bezustannie wypitej (?) wody

to ochłodzenie ~~[illegible]~~ jednoprocentowe byłoby postąpiłoby tylko aż do głębokości 5.5 km. (naturalnie przy zupełnym pominięciu prądów).

Powolność dyfuzji jest też przyczyną, że atmosfera ziemska ma skład nadzwyczaj jednolity, ponieważ dążność pierwiastków cięższych do opadania, lżejszych do wznoszenia się i dążność mórz do nasycania powietrza wilgocią zostaje (przynajmniej w dolnych warstwach) zupełnie neutralizowaną przez prądy konwekcyjne ~~mieszające~~ je bezustannie.

Powolność zjawisk dyfuzyjnych ~~Nadzwyczajnie ważną jest ona~~ dla życia organicznego gdyż wymiana materyi w organizmach, ~~[illegible]~~ (następuje drogą dyfuzji, choć częściowo ułatwiona przez krążenie soków) ona to ~~też~~ jest miarodajną dla prędkości odpowiednich procesów chemicznych a więc od niej zależy długość życia ~~organicznego~~ organizmów.

Tak oto stale spotykamy się w analogicznych równaniach, które dla fizyki matematycznej są dość obojętne, (dla fizyki doświadczalnej ~~praktycznej doniosłości owych zjawisk~~ pierwszorzędne mają znaczenie) gdyż od nich przeważnie zależy przydatność metod mierniczych a, co więcej, doniosłość owych zjawisk dla ~~[illegible]~~ przyrody i człowieka.

„[illegible]”

Posłane Maj 1918

Dicksteinowi

„Wiadom. Matemat.”

1XX

3 Studencka 6 Lutego 1918

Wielce Szanowna i Łaskawa Pani

Przeczytałem ponownie artykuł. Wszystkie podniesione przez W. Szan. Panią miejsca wziąłem starannie na uwagę. Artykuł ma, istotnie, niejako dwa wstępy: pierwszy na początku, drugi na str. 2 (przepisanego tekstu). Jednakże nie razi mnie to, nie wydaje się wadą; zmieniać byłoby trudno, ze względu na stylizacyę pierwszego wstępu (pierwsze zdanie np.) wymagałoby to przeróbek znacznych. — Str. 5: nadmiar ilości wypływających ponad wypływające. — Str. 19: zmieniłem stylizacyę; tamże, prof. Smoluchowski miał prawdopodobnie zamiar wpisać (w miejscu, gdzie mały odstęp pierwotnego tekstu) trochę danych liczbowych, dla ilustracyi ostatniego zdania. Można zostawić jak jest. — W innych miejscach wskazanych przez W. Szan. Panią, małe poprawki wystarczyły, aby usunąć wszelkie wątpliwości.

Artykuł jest bardzo skondensowany; w szkicu ś.p. prof. Smoluchowski pisał może umyślnie bardzo zwięźle, chcąc uzupełnić treść w ostatecznej re-

dakcyi. W niektórych miejscach próbowałem zatem troszeczkę uzupełnić to lub owo zdanie, które przez zbytnią zwięzłość wydawało się niezupełne lub nawet niezrozumiałe.

Niestety, oznaczenia nie są zwykle wytłomaczone, nie podane definicye symbolów. Najczęściej można się domyśleć, co znaczą litery; lecz niekiedy jest się w kłopocie. Wyznaję, że nie zdołałem zrozumieć ustępu o analogii ruchu cieczy lepkiej z drganiami poprzecznemi płyty sprężystej (str. 8 u dołu) oraz równania różniczkowego, które tam wpisałem z oryginału; ale go nie zrozumiałem. Z pewnością nie jest to równanie różn. drgań popr. płyty sprężystej, cokolwiekbądź oznaczylibyśmy przez u. Jestem w wielkim kłopocie, jak poradzić Wd. Pani co do tego miejsca. Może przez pośpiech w pierwszej redakcyi (brulion jest widocznie prędko pisany) zaszedł tu jakiś błąd, jakieś zapomnienie, może brakuje tu czegoś? nie mogłem się domyśleć, jaka była myśl śp. profesora Smoluchowskiego w tem miejscu; tak jak jest, jest nie dobrze i nie zdaje mi się, żeby można było tak to miejsce zostawić. Może opuścić poprostu owych 4–5 wierszy u dołu pag. 8, które stoją między czerwonemi kre-

serkami? — Że ś.p. profesor pisał prędko i zapewne do brulionu nie wrócił, widać stąd, że niektóre formuły zawierają widoczne omyłki (np. na str. 5, na str. 19) które jednak było bardzo łatwo poprawić, bez żadnej wątpliwości.

Inny jeszcze ustęp, który budził we mnie wątpliwości jest: u dołu pag. 19 i u góry p. 20. Bieg rozumowania jest jasny i prosty, ale gradient musiałem skomponować, bo bardzo nieczytelny w oryginale; lecz nie mam wątpliwości, że miało być 1° na 30 m; tylko wynik 130 km mnie zadziwia, przerachowałem bowiem i otrzymałem 24 km (w założeniach podanych w tekście) Niepokoi mnie to: czy znów jakiś błąd, czy też czegoś tu nie rozumiem? Jest to zagadnienie słynne, o którem Lord Kelvin napisał (1862) słynną rozprawę "Secular Cooling of the Earth", potem bardzo wiele o tem pisano, całe dzieła (np. ś.p. prof Rudzki); tu o całem zagadnieniu jedno zdanie! Łatwo więc może wkraść się jakieś nieporozumienie. (Nie mówię już o tem, że po pracach Strutta ta cała kwestya stoi dziś całkiem inaczej) Lecz ten ustęp nie jest dla mnie tak niepokojący jak ów na str. 8 u dołu.

Na str. 9–10 są pewne zdania, na które nie zgadzam się; lecz mniejsza o to. (Prof. Smoluchowski musiał zapomnieć o pracy, którą poświęciłem w roku 1902-im temu przedmiotowi.)

Kreska (i odstęp) na str. 13 są bardzo ważne; praca ta dzieli się na dwie części, dwa stadya niejako. Możnaby nawet dać I i II: I na str. 2 u dołu przed „klasycznymi", II zaś w miejsce owej kreski, str. 13.

Praca jest bardzo piękna, mimo tych niepokojów strasznie pociągająca; mimo, że kwestye te bardzo są opracowane i utarte, niekiedy bardzo świeża i pouczająca. Gdym czytał, żal ścisnął mi serce, po tysiączny raz, że Go już niema; głęboki żal, nie gasnący.

Zdaje mi się (tak samo jak W. Szan. Pani), że „Wiadomości matematyczne" są najlepszem miejscem, do ogłoszenia tej pracy posłużyć mogącem, zwłaszcza, gdy ś.p. Profesor Sam ją tam przeznaczał. Redaktorem i wydawcą „Wiadomości matematycznych" jest profesor S. Dickstein (Marszałkowska 117. II piętro)

który z wdzięcznością i radością pracę wydrukuje. Prof. Dickstein wydaje również i „Prace" ale te wychodzą znacznie powolniej, rocznymi tomami, Wiadomości zaś prędzej, zeszytami, zwięzła praca nadaje się lepiej do Wiadomości.

Pozostaje mi tylko podziękować serdecznie W. Szan. Pani za położone we mnie zaufanie, któremu starałem się, jak umiałem, odpowiedzieć.

Proszę W. Szan. Panią o przyjęcie zapewnień mego wysokiego poważania

Wład Natanson

I A 22

16

O „Analogjach”

uwaje [illegible], ?

[1918 Wiad. Mat. t. 22, s. 167–76]

Wyd. t. III. s 237–245

II

Holutka Roman 26	III	rewident Wyd. Kraj. 3600 K	2. n			rel Hirsberg zadow Demb sem rel { Kelmann 4 godz, Finkel, Dembiński 3 godz } bd. Kelmann 3 godz rel { Finkel, Kelmann } semin
Jurkiewicz Alexander 26	II	wdowa po parobku				rel Dembiński, Hirschberg bd Witkowski
× Kawecki Zygmunt ~~18~~ 19	I fil. po fizyce egz. prawa	żonaty 1 dziecko		utrzymuje rodzinę z suplentury i literatury		tży egzamin prawa dostateczny
Kostrzewski Edward 34	III	naucz. lud.	liczna rodz.			bd K. Lilat dostat. Kranik. 5 godzin chwalebnie " 3 godz
Koller Jerzy Włodzimierz 50	II	lekarz obwodowy długi bez praktyki	2 n.	utrzymuje się sam		zadow. Lilat sem b. d Leszczewski 2 godz matura z odzn.
Koestlich Roman	III	wszystkie zastanowiki przy podaniu do Minist. Oświaty				
× Kreidl Manfred 61	I	wdowa po urzędniku 700 K r.	2 s. n.	(6 stypend. Niemiłe z powinowactwa lub inne)		matura realna: 1 bd. 4 d, 6 dost " gimn (extranist) 5 d. 5 dost
Kachnikiewicz	II	naucz. lud. 840 K rocznie	5 osób.	jako nauczyciela przygotowuje się do obu matur semin: 2 chwal. 8 zadow. 5 dost		

Kilka uwag o analogiach fizycznych, zachodzących w teoryach ~~przewodzenia elektryczności, ciepła~~, prądów elektrycznych, ~~w~~ cieplnych i dyfuzyi.

Analogia stanowi charakterystyczną cechę pewnych teoryi, którą one już od samego swego przyjścia na świat od ~~rodzicieli~~ (twórców) swych otrzymały.

Najstarsza jest teorya przewodzenia ciepła, ogłoszona przez Fouriera w 1822 roku w jego słynnem dziele: „Théorie analytique de la chaleur", a po części już poprzednio w pojedynczych rozprawach; ona bezwątpienia podała Ohmowi (1827) myśl przyjęcia podobnych założeń dla prądu elektrycznego, a już otwarcie służyła za wzór Fickowi (1855) przy wypracowaniu teoryi dyfuzyi.

Analogia ta, która polega na wspólnem zasadniczem założeniu, że prąd elektryczny lub ciepła lub prąd materyi przenikającej przez inną materyę, jest proporcyonalny do spadu potencyału, lub temperatury, lub koncentracyi, wydatnie się zaznacza w obliczeniach ~~do~~tyczących stanu trwałego, które wspólnemu równaniu podlegają: $\Delta^2 U = 0$.

Równanie to napotykamy, coprawda także często w innych dziedzinach fizyki; służy ono n.p. do określenia

potencyału prędkości ruchów niewirowych cieczy idealnej, potencyału elektrostatycznego (lub magnetycznego) w polu statycznem i t. p.

Istotnie, formalna ta analogia często okazuje się pożyteczną, nasuwając rozwiązania z jednej dziedziny, przydatne dla innej.

× Analogie występujące tak często w różnych dziedzinach fizyki teoretycznej tworzą wdzięczny, i też dość często eksploatowany temat do badania. Dla badacza śledzenie ich jest znakomitym środkiem pogłębienia logicznego odpowiednich pojęć, i wykończenia teoryi zapomocą zastosowania wywodów zapożyczonych z innych dziedzin fizyki; a oprócz tego jest ona też nieocenioną pomocą przy dydaktycznem traktowaniu przedmiotu. ×

× Z tego względu chciałbym wypowiedzieć tu kilka uwag, które choć nie zawierają nowych rezultatów, przecież snać przydać się mogą do objaśnienia niektórych kwestyj, nasuwających się przy głębszem wnikaniu w przedmiot, przy tem chodzi mi szczególnie o rozważenie dwóch punktów: logicznej i praktycznej doniosłości takich analogii. ×

Klasycznym, ~~takim~~ (już wyżej wspomnianym) przykładem jest analogia zjawisk polegających na równaniu potencyalnem

$$\Delta^2 u = 0$$

odgrywającem tak ważną rolę we wszystkich niemal częściach

(3 19

fizyki. Tak ~~np.~~ wzór $U = cx\left(1+\frac{a^3}{2r^3}\right)$ zadość czyniący powyższemu równaniu i pochodne z niego

$$\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{cx}{r}\left(1-\frac{a^3}{r^3}\right) \quad \frac{\partial U}{\partial x} = c\left(1+\frac{a^3}{2r^3} - \frac{3x^2a^3}{2r^5}\right)$$

wyrażają rozkład potencyału U w otoczeniu kuli (o promieniu a), która znajduje się w ~~równomiernem~~ polu (poprzednio równomiernem (jednostajnem)) U = cx; można te równania interpretować na rozmaite sposoby. Przedstawia ono rozkład potencyału, linij prądu elektrycznego w otoczeniu kuli (~~nieprzewodzącej~~ wcale), zanurzonej do (nieskończenie rozległego) przewodnika jeżeli stała c oznacza stosunek prądu do przewodnictwa (nieskończonego przewodnika). Uważając U za temperaturę ciała, otrzymujemy odpowiedni ~~przykład~~ przypadek z teoryi przewodzenia ciepła; podstawiając na miejsce U koncentracyę roztworu, otrzymujemy rozkład koncentracyi spowodowany (przez) dyfuzyę w otoczeniu ściany kulistej. A te same równania przedstawiają także (potencyał prędkości oraz) kierunek i prędkość prądów cieczy w otoczeniu kuli zanurzonej do cieczy idealnej nieściśliwej.

Podobny parallelizm między temi dziedzinami istnieje przy każdem zadaniu tego rodzaju. – Z takich analogij skorzystał np. Bergot (1888), przenosząc zasadę W. Thomsona obręczy ochronnej (w ~~swym~~ tego „guard-ring" electrometer") z elektrostatyki do teoryi przewodzenia ciepła,

co mu umożliwiło oznaczenie przewodnictwa cieplnego rtęci i kilku innych metali, zapomocą metody interesującej ~~ciekawej~~ i bardzo dokładnej.

Podobnie znów sposób Christiansen'a oznaczania wzajemnego stosunku przewodnictwa cieplnego w dwóch warstwach złych przewodników, albo O. Lodge'a metoda „pręta podzielonego", stanowią nieznacznie zmienione modyfikacye metod używanych do oznaczenia przewodnictwa elektrycznego, tak, że każde specyalne rozwiązanie może znaleźć zastosowanie do wszystkich owych zjawisk. Zagadnienia dwuwymiarowe mają jeszcze i liczne inne analogie, np. w rozmieszczeniu ciśnień i prężności po przekroju belek skręconych i przegiętych i t. p.

Wiadomo, że równanie różniczkowe $\Delta^2 U = 0$ można zastąpić przez założenie „całkowe", że siły pochodzą od punktów grawitacyjnych, elektrycznych czy magnetycznych, działających według prawa zasadniczego $\frac{1}{r^2}$, i że tak samo hydrodynamikę idealną można rozwinąć w założeniu iż prąd cieczy pochodzi z istnienia pewnych

źródeł (wypływów) powodujących prąd o prędkości $\frac{1}{4\pi r^2}$ w odległości r od źródła jednostkowego.

Rozważając bliżej powyższe przykłady, spostrzegamy między niemi dość wyraźną różnicę: mianowicie trzy rodzaje przewodzenia lub przeciekania: elektryczności, ciepła i materyi - dyfundującej, łączą się między sobą o wiele ściślejszą analogią, aniżeli z innemi przykładami.)

(Istotnie zasadza się ona w niektórych wspólności dwóch zasad podstawowych

1) substancyalizacya elektryczności, ciepła, materyi; występuje ona w równaniu „niezniszczalności" lub ciągłości, według wzoru

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial (cu)}{\partial x} + \frac{\partial (cv)}{\partial y} + \frac{\partial (cw)}{\partial z}$$

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial (cu)}{\partial x} + \frac{\partial (cv)}{\partial y} + \frac{\partial (cw)}{\partial z}$$

wypowiadającego, że nadmiar ilości ciepła, substancyi, lub elektryczności (z pewnem przybliżeniem (zob. niżej) wpływającej przez powierzchnię ~~elementu~~ każdego elementu ponad wypływające ilości nie może zniknąć, ~~tylko~~ lecz zostaje tam nagromadzony.

2) Założenie Fourierowskie proporcyonalności prądu do spadku temperatury, koncentracyi ~~etc~~ it.p.

Analogia ta, nie jest ściśle przypadkową; przeciwnie ona była poniekąd rodzicielką tych teorji.

Wydaje się że zrozumiałem przeto, jeżeli się zapatrujemy na te zjawiska jako na równorzędne rodzaje rozpraszania energji, podlegające wspólnemu „prawu znikania".

Wspólności owych zasad jest przyczyną, że analogia po części też i dla stanu zmiennego z czasem pozostaje ważną.

Istotnie np. prawo, według którego temperatura się z czasem zmienia w punktach pręta, mającego początkowo jednostajną temperaturę 0, a w chwili $t = 0$ w jednym końcu do stopnia θ_0 ogrzanego:

$$\theta = \theta_0 \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-y^2} dy \right]$$

jest identyczne ze wzorem, który podaje wzrost potencjału w długim kablu, którego koniec został połączony z baterją; a na tym samym wzorze także opiera się metoda, służąca do oznaczania spółczynnika dyfuzji z ilości substancji, która z naczynia napełnionego roztworem przeniknęła

do wnętrza rurki, początkowo czystą wodą napełnionej; metoda zastosowana z małą odmianą przez Grahama a później surowsza przez Stefana
~~Posługując się w taki sposób, że tu zjawiska z ...~~

A co najciekawsze, ~~to że~~ rozgałęzienia tych analogii sięgają nawet do teoryj mechanizmów ogólnych zjawisk i nawet do wartości spółczynników. — Wszak przewodzenie elektryczne w elektrolitach uważamy za objaw dyfuzyi jonów. A teorya gazów tłomaczy wewnętrzny mechanizm dyfuzyi oraz przewodzenia ciepła w gazach w zupełnie analogiczny sposób

Prawo Wiedemanna i Franza, wypowiadające proporcyonalność (pomiędzy sobą) spółczynników przewodnictwa elektrycznego i cieplnego dla rozmaitych metali znów wskazywać się zdaje wewnętrzne pokrewieństwo tych dwóch zjawisk, występujące także w tem, że one obydwa w podobny sposób podlegają wpływowi pola magnetycznego.

Istotnie, nowsza teorya elektronów stara się usilnie o wytłomaczenie pokrewieństwa tych

~~[illegible]~~ ze sobą złączonych dziedzin na podstawie hypotezy dyfuzyi elektronów

Porównywając w taki sposób ~~te~~ owe trzy zjawiska z innymi przedtem wspomnianymi przykładami, możnaby pomyśleć o odróżnieniu ich jako analogij istotnych lub rzeczywistych, t.j. polegających na głębszych przyczynach, od analogij natury czysto formalnej, wytworzonej przez przypadkowe podobieństwo wywodu matematycznego; i rzeczywiście napotykamy u różnych autorów takie ~~określenia~~ twierdzenia.

Do pierwszej kategoryi należałyby, oprócz właśnie wymienionych, także np. pokrewieństwo zjawisk głosu do światła i drgań elektrycznych; do analogij formalnych zaś np. wspomniane podobieństwo rozkładu prądu cieczy i ~~potencyału~~ potencyału w pola elektrostatycznem, albo analogia między ruchem powolnym dwuwymiarowym cieczy lepkiej a drganiami poprzecznemi płyty sprężystej [polegająca na wspólności równania

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = 0 \quad]$$

lub podobieństwo linii łańcuchowej do pro-

mięcia światła, przechodzącego przez ośrodek o struk-
turze warstwowanej; podobieństwo, które odnajdujemy
znowu w pewnem zadaniu Dynamiki punktu materyalnego
(Thomson i Tait, Treatise on Natural Philosophy, Cz. II. p. 124, § 581)

Mimo, że taki podział wydaje się bardzo naturalnym
i w istocie rzeczy uzasadnionym, nie sądzę jednak,
żeby on dał się utrzymać lub wogóle tylko konsekwent-
nie przeprowadzić, gdyż różnice gatunków analogij
przedstawione tu w kilku skrajnych przykładach,
są przecież tylko stopniowe. — Tak np. analogia
omówionego przykładu ładowania kabla elek-
trycznego ze zmiennym rozkładem tempera-
tury pręta ogrzanego na jednym końcu zatraca
się zupełnie, gdy uwzględnimy jeszcze zjawiska in-
dukcyi elektromagnetycznej, odgrywające przeważ-
ną rolę w kablach krótkich, o małym oporze,
tj. gdy uzupełnimy obliczenie Kelvina w taki sposób,
jak to Kirchhoff uczynił.

Ogólne równanie stanu zmiennego cieplnego

$$c\rho \frac{\partial\theta}{\partial t} = k\cdot\Delta^2\theta$$

nie ma wogóle analogii w elektryczności; ponieważ

tam równania zasadnicze stanu cieplnego są o wiele bardziej skomplikowane i pojęcie potencjału skalarnego nie da się tam ogólnie zastosować.

Wprawdzie może także ~~równanie~~ owo równanie cieplne dozna kiedyś poprawki przez uwzględnienie zjawisk bezwładności cieplnej, ale nie zdaje się, żeby to mogło nastąpić według równań Hertzowskich.

Zresztą i w prostych przypadkach ustaje ta analogia, gdy się uwzględnia różnicę ładunków powierzchniowych elektrycznych a przestrzennego rozmieszczenia ciepła.

Znacznie ściślejszą jest analogia dyfuzji materyi a ciepła, ale i ona upada przy rozszerzeniu rozważań na zjawiska termodynamiki, okazując, że ciepło nie jest niezniszczalne, ~~w~~ co dotychczas ~~jako~~

za zasadniczą własność „materyi". przyjmujemy

Oczywiście, gdyby analogia tych zjawisk była zupełna, nie bylibyśmy wcale utworzyli osobnych nazwisk do ich określenia.

Obecnie porzuciliśmy ~~[illegible]~~ naiwne pojęcie ciepła jako substancyi („fluidum") i uważamy je za rodzaj ruchu drobinowego, ale czyż to ~~także~~ (nie przypuszczenie

~~jest~~ polega Także ostatecznie tylko ~~analogia~~ na dostrzeżeniu pewnej analogii?

Jest to wogóle rzeczą niebezpieczną: wierzyć w rzeczywistość hypotez fizycznych i równie naiwnymi będą się może kiedyś wydawać ci, którzy wierzą ~~w~~ jedynie w realny byt materji (w związku z niezmiennością masy) jak ci, którzy obecnie w podobny sposób ubóstwiają energię.

Wszak i najbardziej wykończone teorye fizyki nie mają innego znaczenia jak tylko to, że uwydatniają pewne analogię. Zjawiska elektryczne tak się odbywają, jak gdyby istniał pewien mechanizm ukryty, własności gazów są analogiczne do własności zbioru cząsteczek poruszających się itp.

Ewolucya nauki ~~następuje~~ (odbywa się ~~w tym kierunku~~ w ten sposób, że analogii prostszej, obszerniejszej, oczywiście większą przypisujemy wagę, niż takiej, która ma bardziej ograniczony zakres ważności ściśle

wspólnych; słów i ta często nie jest zupełnie bez-
użyteczna, podobnie jak i dziś w wielu przypadkach
z korzyścią wyobrażamy sobie elektryczność lub ciepło
pod postacią „~~fl~~ fluidum". – Kto naiwnie wierzy w real-
ność teoryj fizycznych, nie pojmuje, jak badacz może ten sam
przedmiot ~~z~~ traktować z punktów widzenia wręcz
przeciwnych, jak to np. Helmholtz uczynił, wypraco-
wując najprzód teoryę mechaniczną absorbcyi świetl-
nej, a później elektryczną; ale staje się to zupełnie zrozumia-
łe ~~to jest~~, jeżeli uważamy jedną i drugą i każdą
teoryę fizyczną tylko za analogię.

W tym sensie możnaby powiedzieć, że wszystkie
analogie fizyki * są tylko analogiami formalnemi,
i że na wyszukaniu ~~takich~~ analogij polega wogóle
zadanie fizyki teoretycznej, przez co umożliwia się
objęcie myślowe jaknajobszerniejszego zakresu

zjawisk fizycznych (odstęp i kreska)

Dziwnem się może wydać, że pomimo tak daleko idącej teoretycznej analogji, zjawiska trzech wyżej wspomnianych kategorji w praktyce tak daleko się różnią, że np. wszystkie metody mierzenia często niewiele mają wspólnych. Przyczyna tego faktu jest następująca: w praktyce, oprócz jakościowych praw, niezmiernie ważną rolę odgrywają spółczynniki materyałów; w tym względzie zaś istnieją olbrzymie różnice.

Największe są różnice spółczynników elektrycznych różnych materyałów, najmniejsze różnice okazują spółczynniki przewodnictwa cieplnego.

Jestto główna przyczyna nadzwyczajnej dokładności, z jaką wykonywać możemy pomiary elektryczne (np. oporu) i przyczyna niezwykłej łatwości, z jaką energja elektryczna przenosi się na dalekie

odległości; ~~a~~ zatem też [jest to główna przyczyna] wogóle praktycznej użyteczności tej formy energii. Co do pierwszego punktu zważmy, że, mierząc opór dobrego przewodnika, np. drutu, możemy zupełnie pominąć ~~upływ~~ upływ prądu elektrycznego przez [boczną] powierzchnię drutu i przez powietrze; ~~a~~ mierząc opór złego przewodnika, znów możemy pominąć zupełnie opory elektrod, przewodzących elektryczność. Brak tak doskonałych izolatorów i tak doskonałych przewodników cieplnych, utrudnia nadzwyczajnie odpowiednie pomiary cieplne; i w [tej okoliczności] ~~niem to~~ szukać należy głównej przyczyny faktu, że wiadomości nasze [w zakresie] ~~o~~ ~~pola~~ przewodnictwa cieplnego są jeszcze tak niedostateczne.

~~O licznych sprzecznościach w rezultatach~~

W rezultatach doświadczalnych, tyczących się

przewodnictwa cieplnego, istnieją też znaczne róż-

nice ~~lub~~ a nawet sprzeczności.

Dla porównania stopnia izolacyi przewodów elektrycznych i cieplnych, wyobraźmy sobie nieskończenie długi drut miedziany, o promieniu 1mm, izolowany 1mm-ową warstwą gutaperki, w jednym końcu utrzymany na stałym potencyale 100 V; spad jednego volta wskutek niedostateczności izolacyi, nastąpi, jak łatwo obliczyć według znanych danych, dopiero na odległości 5500 km; podczas gdy odpowiedni jednoprocentowy spad temperatury drutu, z jednego końca ogrzanego, nastąpiłby już w odległości tylko 3 cm od tegoż końca.

Nawet najlepsza izolacya cieplna, na sposób* butelek Dewara, nie wiele poprawiłaby ten wynik i dlatego też nikomu na myśl nie

przyszło rozsyłać do ~~naszego mieszkania~~ naszych mieszkań energię cieplną za pomocą przewodów cieplnych, (t.j. drutów ogrzanych w stacyi centralnej, jak to czynimy z elektrycznością *)

W doświadczeniach ~~z~~ co do dyfuzyi, „izolacya" zjawiska nie przedstawia żadnych trudności, ponieważ współczynniki przenikania ciał stałych są tak małe, że ~~wogóle~~ tylko w wyjątkowych przypadkach (jak dyfuzya Au — Pb, według Robertsa Austena) — udało się wykazać istnienie w ruchu wogóle zjawiska dyfuzyi.

Jest to rzeczą nadzwyczaj prawdopodobną, że wzajemne przenikanie się ciał stałych (przynajmniej do pewnego stopnia granicy rozpuszczalności) jest zjawiskiem zupełnie ogólnem, nie ~~jest~~ zaś ograniczonem do tego

---

*) Używamy ~~chyba~~ jedynie wody lub pary wodnej albo powietrza ogrzanego i rurami rozsyłanego, które zachowują ~~[illegible]~~ przy transporcie (w ogrzewaniu centralnem) zawartość ciepła swoją w przybliżeniu niezmienioną.

specyalnego przypadku, ale spółczynniki odpowiednie są tak małe, że nie spostrzegamy nigdy, ażeby np. kawał żelaza, leżąc na miedzi, wchłonął jej część ~~tejże~~ w siebie; i ~~tak~~ trwałość stanu ciał stałych, zwykliśmy uważać za coś samo przez się zrozumiałego.

Prawdopodobnie jedynie wskutek tego możliwe jest wytworzenie ~~st~~ substancyj stosunkowo czystych, a zatem też wogóle rozwój chemii jako nauki.

Ta powolność nadzwyczajna jest po części wspólną cechą wszystkich zjawisk dyfuzyjnych i ona to głównie powoduje olbrzymie trudności odpowiednich badań także w gazach i cieczach.

Nie tylko bowiem czas trwania jednego doświadczenia musi być bardzo długi, ażeby ilości przenikające były dostatecznie wielkie, ~~dla~~ do zmierzenia wystarczające, ale wskutek tego trzeba też ~~[illegible]~~

[zazwyczaj] ogromnej staranności, ażeby przeszkodzić powsta[wa]niu prądów konwekcyjnych.

Odnosi się to zwłaszcza do czystych cieczy, gdzie drobne nawet nierównomierności temperatury wystarczają już do wytworzenia prądów, fałszujących zupełnie wynik doświadczenia; używając wąskich naczyń, [rurów] zmniejszamy w tym samym stosunku ilość substancji przenikającej.

Z powodu tej powolności dyfuzyi ~~długo~~ ~~trz~~aby [długo] czekać aż się ustali[ł] ~~układ~~ [stan rzeczy] trwały; zwykle bywają [też] zastosowane metody polegające na czasowej zmienności koncentracyi, jak owa już wspomniana metoda Grahama.

Do rozkładu cieplnego nie mamy ścisłej analogii w elektryczności, jak już wspominaliśmy, a w teoryi przewodnictwa ciepła spółczynnik[iem] analogiczny[m], zastępujący[m] stałą dyfuzyi w prawie

a cap.

zasadniczem $\left[\frac{\partial C}{\partial t} = K \Delta^2 C\right]$ nie jest przewodnictwo cieplne, ~~tylko~~ lecz raczej tzw. przewodnictwo temperatury tj. $\frac{K}{c\varrho}$, którego wartości o wiele mniej pomiędzy sobą ~~się okazują~~ różnią się w rozmaitych skałach aniżeli wartości samego przewodnictwa cieplnego.

Ilościową różnicę właściwości tych zjawisk przedstawi następny przykład:

Przyjmując jako 4000° temperaturę pierwotną kuli ziemskiej, na powierzchni nagle odstudzonej aż do dzisiejszej temperatury, a 0·015 jako współczynnik przewodnictwa temperatury (granitu, gneisu, marmuru, porfiru), otrzymalibyśmy według wzoru

$$= \frac{2\theta_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{z}{2\sqrt{kt}}} e^{-x^2} dx$$

$$\theta = \theta_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{z}{2\sqrt{kt}}} e^{-x^2} dx$$

wynik, że po upływie 30,000,000 lat (tj. czasu potrzebnego aby gradient temperatury $= \frac{1^\circ}{30\,m}$) — odstudzenie

tuż przy powierzchni

ograniczyłoby się jedynie do warstwy grubości 130 km t.j. w tej głębokości temperatura pierwotna była obniżoną dopiero o 1%. Powolne postępowanie ochłodzenia tego, (nawiasem mówiąc,) na klimat ziemi wcale nie wpływa, gdyż ciepło, z wnętrza ziemi ku powierzchni ziemi napływające, wynosi ledwie część tej ilości, którą ona otrzymuje od słońca.

Gdyby w podobny sposób od owego czasu morze pokryte zostało warstwą bezustannie czystej wody, to wystudzenie jednoprocentowe byłoby postąpiło tylko aż do głębokości 5.5 km (naturalnie przy zupełnym pominięciu prądów.)

Powolności dyfuzji jest też przyczyną, że atmosfera ziemska ma skład nadzwyczaj jednakowy, ponieważ dążności pierwiastków cięższych do opadania, lżejszych do wznoszenia się i dążności mórz do nasycania powietrza wilgocią, zostaje zupeł-

nie zneutralizowane, przynajmniej w dolnych warstwach, przez prądy konwekcyjne mieszające ją bezustannie.

Powolność zjawisk dyfuzyjnych nadzwyczajnie ważną jest dla życia organicznego, gdyż wymiana materyi w organizmach, choć częściowo ułatwiona przez krążenie soków, następuje drogą dyfuzyi, ona to jest miarodajną dla prędkości odpowiednich procesów chemicznych, a więc od niej zależy długość życia organizmów.

Tak owe stałe spółczynniki w równaniach analogicznych, które dla fizyki matematycznej są dość obojętne, pierwszorzędne mają znaczenie dla fizyki doświadczalnej, gdyż od nich przeważnie zależy przydatność metod mierniczych, a co ~~więcej~~ ważniejsza, doniosłość owych zjawisk dla przyrody i człowieka.

Manfred 61 700 K r. lub inne

Kachnikiewicz Zofia II 14 ✱
naucz. lud. 870 K ~~rocznie~~ 5 osób.
Jako nauczycielka przygotowała się do obu matur
semin: 2 chwal, 8 zadow, 5 dost
gimn: 3 bd (fizyki) 3 dobre 4 dost

cel Zaknew ~~Labor~~
" Radin "

bd. Zakrze 5 godz
" " "
" Radisz
cel Radin } labor
" Zakrz } "

Łomnicki Antoni IV 1
prof. gimn 1 n.
wdowiec właściciel
zostawia na dalsze studya

cel Smol 5 godz
cel Rajew 3 godz
cel Czyrga sem
(25)

Matura z odznacz.
5 cel
5 bd.

2 cel Rajewski
1 cel Czyrga
1 cel Smol
1 cel na Czyrga

cel Danyz
" Twaard 4 godz
1 cel Czyrga sem
cel Radin lab
2 bd Zaknew lab
bd Czyrga sem

1 cel Rajew 3, 5, ?, godz.
2 cel Zakrz 5, 2, godz
3 cel Czerz 3, 3, ? "
2 cel Radin 6, 6 godz
cel Smol 5 godz
~~" Ernst 3 godz~~
bd Czyrga 4 godz
" Zakrz 5 godz

Longin Lam II 55
Komisarz straży skarb. 3,000 K
Daje lekcye

cel Kalina 2 godz
" Danyz 3 godz

Laskiewicz Leon I 54
wdowa po Komisarzu sądowym 8 n.
800 K pensji
800 K dodatku na dzieci
matura
2 cel, 4 chwal, 2 zadow 2 dost

38